4Б

УДК 681.324

А.В. Бухановский, В.Н. Васильев, Ю.И. Нечаев
НИИ наукоемких компьютерных технологий Санкт-Петербургского национального исследовательского университета информационных технологий, механики и оптики
197101, Россия, г. Санкт-Петербург, пр. Кронверкский, 49

Функциональная модель центров компетенции в интеллектуальной среде «облачных» вычислений

A.V. Boukhanovsky, V.N. Vasilev, Yu.I. Nechaev
Research Institute of Science Intensive Technologies of St. Petersburg National University of Information Technologies, Mechanics and Optics
197101, Russia, Saint Petersburg, Kronverkskiy pr., 49

Functional Model of the Competence Centres in Intelligence Environment of «Cloudy» Computing

А.В. Бухановський, В.Н. Васильєв, Ю.І. Нечаєв
НДІ наукоємних технологій Санкт-Петербурзького національного дослідного університету інформаційних технологій, механіки й оптики
197101, Росія, м. Санкт-Петербург, пр. Кронверкський, 49

Функціональна модель центрів компетенції в інтелектуальному середовищі «хмарних» обчислень

Рассматривается проблема создания инструментария центров компетенции, обеспечивающих мониторинг критических ситуаций на основе интеллектуальных технологий и высокопроизводительных средств вычислений. Функционирование вычислительного комплекса осуществляется в среде «облачной» модели. Практическое приложение разработанной концепции обсуждается применительно к задаче контроля критической ситуации, связанной с подъемом уровня моря и угрозой наводнения.
Ключевые слова: интеллектуальные технологии, «облачная» модель, программный инструментарий центров компетенции.

The problem of creation of toolkit of the competence centres ensuring monitoring of critical situations on the basis of intelligence technologies and high-performance means of calculations is considered. The functioning of the computer complex is carried out in environment of «cloudy» model. The practical application of the developed concept is discussed with reference to a task of the control of a critical situation connected to rise of a sea level and threat of flood.

Розглядається проблема створення інструментарію центрів компетенції, що забезпечують моніторинг критичних ситуацій на основі інтелектуальних технологій і високопродуктивних засобів обчислень. Функціонування обчислювального комплексу здійснюється в середовищі «хмарної» моделі. Практичне застосування розробленої моделі обговорюється стосовно до задачі контролю критичної ситуації, пов’язаної з підйомом рівня моря і загрозою повені.
Ключові слова: інтелектуальні технології, «хмарна» модель, програмний інструментарій центрів компетенції.

Введение

Проблема создания программного инструментария центров компетенции (ПИЦК) определяет основные направления организации интегрированного вычислительного комплекса на основе интеллектуальных технологий и высокопроизводительных средств

вычислений в среде «облачной» модели [1-9]. В рамках этой модели обеспечивается логическая и физическая организация вычислительной технологии, эволюционирующая в зависимости от изменения условий среды в многомерном фазовом пространстве с учетом текущего состояния структуры данных. Функционирование используемой инфраструктуры осуществляется на основе многоуровневого управления ресурсами. В процессе эволюции возникают устойчивые структуры-аттракторы, характеризующие установившиеся стадии развития вычислительного комплекса. При этом обеспечивается своевременное поступление исходных данных и команд, необходимых ПИЦК в процессе ее функционирования и при размещении данных в среде «облачной» модели информационно-аналитической системы. Адаптация к изменяющимся условиям вычислительной среды позволяет настраивать систему на текущее использование вычислительных средств и обработку данных. В процессе самоорганизации и динамической настройки параметров ПИЦК реализуется единое информационное пространство, объединяющее потоки данных и обеспечивающее возможность настройки элементов структуры (сервисов) и использования разработанной интеллектуальной технологии в каждом из аппаратно-программных решений в зависимости от способов «виртуализации» многоуровневого управления поддерживающих рабочих нагрузок и используемых платформ [1-3].

1. Концепция функционирования центров компетенции в среде «облачной» модели

Проектирование ПИЦК в среде «облачных» вычислений осуществлено в виде иерархии уровней аппаратной, функциональной и информационной конфигурации, оптимальных для определенных условий и имеющих минимальную сложность вследствие регулярности построения и использования дополнительной информации.

Концептуальная модель ПИЦК. На рис. 1 представлена схема, иллюстрирующая процесс функционирования ПИЦК. Платформа предназначена для организации центров компетенции и требует использования соответствующих подходов в процессе работы с системой. Особую важность приобретает информационная поддержка пользователя, осуществляемая на основе знаний виртуального профессионального сообщества, в котором ведущую роль играют эксперты, а также истории выполненных заданий (базы прецедентов) и информационной базы (интегрированной справочной системы). Информационная поддержка в данном случае оказывает существенное влияние на процесс формирования описания решаемой задачи. Процедура информационной поддержки имеет самостоятельную ценность вследствие обучающей роли – в процессе ознакомления с информационными базами пользователь системы расширяет уровень профессиональных знаний и навыков.

Расширение базы знаний на основе пополнения истории решенных задач актуально ввиду того, что постоянно пополняемая база знаний обеспечивает более качественный логический вывод и информационную поддержку пользователя. При этом по результатам запуска могут быть получены знания как о технологических аспектах решения задачи (особенности реализации композитного приложения, оценка производительности прикладных пакетов и т.п.), так и о предметных ее особенностях на основе автоматического и автоматизированного анализа результатов вычислений. Кроме того, важную роль играет поддержка платформой деятельности виртуального профессионального сообщества, знания членов которого могут рассматриваться как

часть информационной базы доступной при помощи соответствующих средств коммуникации, входящих в состав информационного портала.

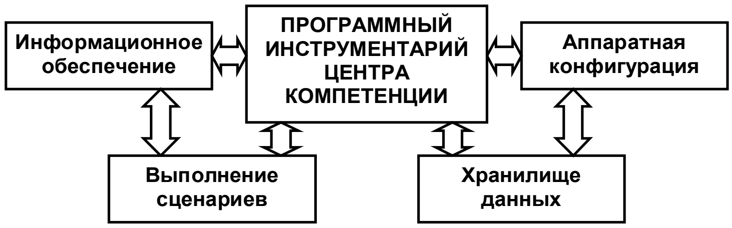


Рисунок 1 – Концептуальная модель и функциональные блоки ПИЦК

Синергетическая парадигма в среде «облачной» модели ПИЦК. Используя результаты работ [4-6], представим синергетическое управление π(S) в среде «облачной» модели ПИЦК в виде последовательности этапов:

$$\pi\,(S) = < f_j(\bullet) \mid \Delta t_1,\ \ldots,\ fn(\bullet) \mid \Delta t_n >, \qquad (1)$$

где $f_j(\bullet)$ – закон управления на j-м этапе эволюции исследуемой системы на основе ПИЦК $(j = 1,\ldots,n)$, определяющий корректировку параметров порядка; Δt_j – длительность этапов.

Фазу сжатия (фазу движения системы к целевому аттрактору) на произвольном интервале

$$[t_1,\ t_2] \subseteq \Delta t_j\,(j = 1,\ldots,n) \qquad (2)$$

опишем с помощью оператора перехода:

$$\Re\{[t_1,t_2],\ R(S)\}\colon X(t_1),\ u([t_1,t_2]), W([t_1,t_2]) \to X(t_2), \qquad (3)$$

где $u([t_1,t_2])$ – управление на заданном отрезке времени; $W([t_1,t_2])$ – действующие возмущения; $R(S)$ – доступные ресурсы.

Критерий качества работы оператора перехода определяет максимальное соответствие ситуации действительности (адекватность) в интервале времени

$$J(S)\{X(t_2)Y(t_2) \to min,\ u \notin t_1,t_2]. \qquad (4)$$

Фаза расширения определяется моделью адекватной системы знаний ПИЦК:

$$KB(S) = \{f(\bullet) \mid \mu : Inp \to Out\} \cup R(KT), \qquad (5)$$

где $f(\bullet) \mid \mu$ – отображения, реализующие математические модели; μ – механизмы реализации отображений; Inp и Out – входные и выходные данные задачи; $R(KT)$ – правила композиции, описывающие способы объединения локальных задач.

Общая формальная модель знаний, интегрирующая используемые классы математических моделей ПИЦК, представляется как

$$\Phi_1\{f(\bullet) \mid \mu\},\ \ldots.,\ \Phi_5\{f(\bullet) \mid \mu\}, \qquad (6)$$

где $\Phi_j\{f(\bullet) \mid \mu\}$, $(j = 1,\ldots,5)$ – функции, определяющие следующие классы используемых в ПИЦК моделей: $\Phi_1\{f(\bullet) \mid \mu\}$ и $\Phi_2\{f(\bullet) \mid \mu\}$ – классы вычислительных и диагностических моделей; $\Phi_3\{f(\bullet) \mid \mu\}$ – класс моделей, определяющих топологию катастрофы; $\Phi_4\{f(\bullet) \mid \mu\}$ – класс моделей анализа и прогноза текущей ситуации; $\Phi_5\{f(\bullet) \mid \mu\}$ – класс моделей динамической базы знаний.

Реализация синергетической парадигмы при управлении исследуемой системой обработки информации связана с разработкой концептуальной базы интеллектуальной поддержки высокопроизводительных вычислений при функционировании ПИЦК в мультипроцессорной вычислительной среде [4].

2 Базовый алгоритм функционирования интеллектуального ядра ПИЦК

На рис. 2 представлен базовый алгоритм в виде временной схемы формирования *WF* в процессе взаимодействия пользователя с ПИЦК, в составе которого выделены три ключевых модуля: интерфейс пользователя, интеллектуальная система (ИС) поддержки принятия решений пользователя и система управления распределенными платформами (*Parallel Executing System – PES)* как отдельные логические блоки ПИЦК.

Рассмотрим основные этапы обработки *WF*, представленные на рис. 2, исходя из особенностей их практической реализации в распределенной среде «облачных» вычислений.

Этап 1. *Формальное описание предметной области в терминологии ИС*. В рамках этого этапа происходит согласование представления пользователя о задаче с формальным описанием предметной области ИС ПИЦК. Важнейшей задачей данного этапа является определение общей терминологии, однозначно интерпретируемой как пользователем, так и системой. В рамках этой терминологии производится описание задачи: определяются имеющиеся входные и запрашиваемые выходные данные, формализуются параметры моделирования (параметры предметной области). Результатом выполнения данного этапа является метапоток данных MWF, закрепляющий требования пользователя к задаче, решение которой требуется реализовать с использованием доступных вычислительных ресурсов.

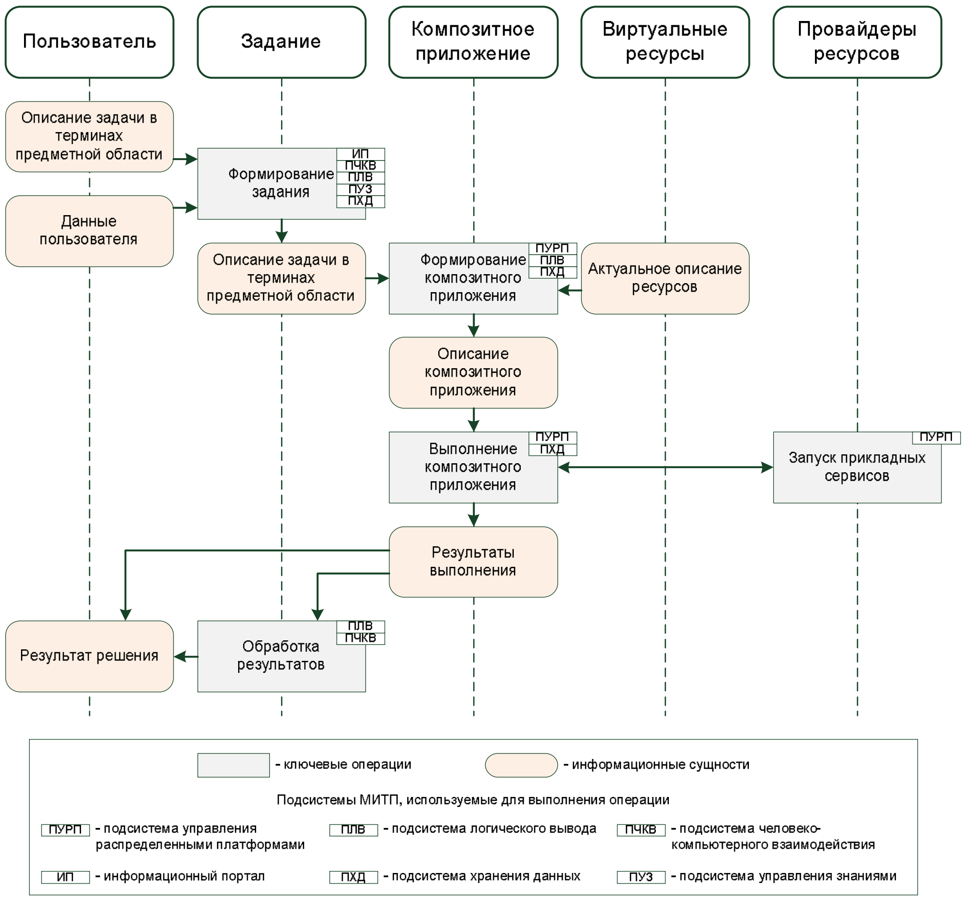


Рисунок 2 – Общая схема интерпретации WF на основе ПИЦК

Этап 2. Построение абстрактного потока данных AWF, включающего в себя два базовых подэтапа. На первом подэтапе производится *декомпозиция задачи* на подзадачи, решаемые с использованием методов предметной области, описание которых доступно в ПИЦК. Целью декомпозиции является построение детального описания пути решения поставленной задачи. При этом в процессе работы ИС предлагается несколько путей решения поставленной задачи, проводится ранжирование и фильтрация методов в соответствии с заданными критериями качества. Пространство критериев качества и выполняемые операции положены в основу механизма логического вывода ИС. На следующем подэтапе построенные варианты декомпозиции *отображаются на набор доступных метасервисов* (обобщенных прикладных сервисов). Результатом этого отображения яаляется AWF, построенный в соответствии с доступным описанием предметной области и набором вычислительных сервисов.

Этап 3. На этом этапе производится *техническая настройка WF* для отображения полученного ранее AWF на набор конкретных сервисов, доступных в рамках вычислительной инфраструктуры, а также с целью настройки параметров запуска сервисов для оптимизации производительности вычислительных ресурсов, используемых в процессе решения задачи. Процедура решения обеспечивается с помощью ИС на основе априорной оценки вычислительного процесса с использованием базы моделей параллельной производительности и набора оптимизирующих правил. В процессе оптимизации учитывается производительность отдельных вычислительных сервисов и накладные расходы на передачу и конвертирование данных, сервисные процессы программного комплекса, системные процессы и пр. Результатом выполнения данного этапа является готовый к исполнению конкретный поток данных CWF, содержащий ссылки на доступные вычислительные сервисы в хранилище данных, последовательность решения подзадач с использованием сервисов и другую системную информацию.

Этап 4. Сформированный CWF передается на *обработку* системе управления параллельным исполнением (PES) в форме соответствующего скрипта. Обработка включает в себя запуск WF на указанных ресурсах, контроль потоков данных и управления, мониторинг исполнения, обработку исключительных ситуаций, возникающих в процессе работы. В случае изменения состава и характеристик доступных ресурсов производится повторное построение CWF с учетом актуализированных параметров вычислительных сервисов.

Этап 5. После завершения вычислительного процесса проводится дополнительный анализ полученных результатов расчета. При этом система позволяет провести анализ в двух режимах: автоматическом – путем обработки выходных данных с использованием ИС (выделение запрошенных пользователем элементов данных и преобразование их к удобному для восприятия виду, когнитивная визуализация и пр.) и автоматизированном – в режиме ручной обработки с использованием доступных пользователю инструментальных средств (персонального программного обеспечения пользователя). Указанные режимы могут эффективно дополнять друг друга в случае, если автоматический анализ данных представляет собой предварительный этап обработки.

Создаваемый в ходе последовательности действий CWF носит для пользователя «рекомендательный» характер, поскольку ПИЦК реализует процесс поддержки принятия решений (ППР) разработчика, а не автоматического управления. Пользователь имеет возможность поменять сформированный CWF непосредственно перед запуском. При необходимости может быть организован итеративный процесс определения WF на основе уточнения требований, выдвинутых пользователем после ознакомления с предложенным CWF. Требования пользователя могут отражать следующие уровни: технические требования, связанные с изменением технических параметров запуска

сервисов (режима распараллеливания), с помощью которых пользователь корректирует решения, выработанные ИС при построении CWF: требования предметной области, связанные с предъявлением дополнительных условий к параметрам предметной области, сформированным в ходе логического вывода ИС (модифицируется AWF): требования по выбору сервисов, определяющие изменение состава и структуры метасервисов абстрактного WF (на основе предпочтений при выборе вычислительных пакетов). Пользователь может заменить отдельные пакеты в составе WF и его структуру; требования к знаниям, на основе которых реализуется логический вывод. При выполнении этого требования модифицируются правила, на основе которых был проведен логический вывод, вырабатываемый ИС.

Некоторые из наиболее существенных требований могут быть использованы ИС в процессе ее функционирования в системе ПИЦК. Обучение ИС осуществляется под контролем администратора системы, утверждающего принимаемые изменения. В отдельных случаях пользователю (эксперту), обладающему достаточными правами в рамках системы, может быть в индивидуальном порядке предоставлена возможность изменения логической системы знаний при решении его персональных задач.

3 Алгоритм функционирования ПИЦК

Последовательность работы алгоритма функционирования ПИЦК рассматривается в виде схемы ключевых операций и информационных сущностей, определяющих организацию системы на основе синергетической парадигмы в среде «облачной» модели в виде следующих этапов:

Этап 1. Формирование задания. На этом этапе в ходе взаимодействия пользователя с системой интеллектуальной поддержки в среде «облачных» вычислений происходит построение структуры задания в терминах предметной области. Эта операция осуществляется подсистемой логического вывода с применением доступных знаний на основе информации и данных, предоставленных пользователем.

Этап 2. Формирование композитного приложения «облачной» модели. На этом этапе осуществляется построение конкретного WF, соответствующего решаемой задаче, для чего используется информация об актуальном состоянии вычислительных ресурсов, доступных ПИЦК.

Этап 3. Выполнение композитного приложения в среде «облачной» модели, состоящее в реализации построенного композитного приложения с использованием запланированных вычислительных ресурсов и сервисов.

Этап 4. Обработка результатов представляет собой заключительный этап работы ПИЦК, состоящий в автоматической или автоматизированной обработке данных, полученных в ходе выполнения композитного приложения в среде «облачной» модели. Этот этап включает визуализацию полученных данных и поиск необходимой информации.

При реализации алгоритма функционирования ПИЦК важное значение имеет построение оптимального расписания исполнения композитного приложения в распределенной среде «облачной» модели. В процессе исполнения WF, составленного из отдельных прикладных сервисов, реализуется один из возможных его вариантов, структурно определяемый выбором из возможных альтернатив в блоке ветвления и количеством итераций циклов. В результате WF преобразуется в структуру, состоящую из цепочек последовательного исполнения, объединенных блоками параллельного исполнения. Иерархическая структура блоков параллельного исполнения рассматривается как укрупненная схема эффективного решения задачи синергетического управ-

ления. В общем случае каждый из WF может быть преобразован в $2^{N_{if}}\prod_{i=1}^{N_{rep}}M_i$ таких схем, где N_{if} – количество операций ветвления в составе WF, N_{rep} – число циклов в составе WF, M_i – максимальное возможное количество итераций в i-м цикле. Для каждой из цепочек последовательного исполнения в целях оптимизации времени работы применен подход, основанный на анализе графа параллельных реализаций [1].

Последовательность этапов при разработке планировщика заданий выполняется в виде следующих шагов.

Шаг 1. Производится определение *задачи*, решаемой пользователем. В ходе этого этапа происходит определение структуры композитного приложения WF, формирование набора данных, предоставленных пользователем, и определение дополнительных параметров исполнения.

Шаг 2. С использованием средств *мониторинга* вычислительных *ресурсов* определяются актуальные параметры системы: состав и текущие характеристики доступных в настоящий момент ресурсов.

Шаг 3. На основе моделей производительности, ассоциированных с элементами WF, на основе характеристик, определенных на предыдущих этапах, осуществляется предварительная оценка производительности элементов, входящих в его состав: вызовов сервисов, передачи и конвертирования данных.

Шаг 4. На основе набора активных фактов, в состав которого входят определенные на первых этапах параметры, частичные оценки и стохастические характеристики вычислительной среды, производится определение параметров имитационного моделирования (с использованием метода Монте-Карло). Результаты моделирования позволяют произвести сравнительный анализ различных вариантов планирования выполнения сформированного композитного приложения (в том числе с использованием различных эвристик).

Шаг 5. Результаты имитационного моделирования подвергаются статистическому анализу с целью обоснования выбора оптимального решения на основе оценки отдельных вариантов (допустимых гипотез). На основе анализа альтернатив выбирается одна из схем выполнения, а в случае невозможности обоснованного выбора схемы решение принимается на основе экспертных знаний (правил выбора в условиях неопределенности).

4 Практическое приложение технологии ПИЦК при моделировании динамики течений и уровня моря для прогнозирования наводнений

Одним из характерных примеров использования синергетической теории управления в рамках технологии ПИЦК является моделирование уровня моря и течений для прогнозирования наводнений в Санкт-Петербурге. Решение осуществляется с использованием модели, разработанной в Гидрометцентре России на основе численной трехмерной бароклинной гидродинамической структуры со свободной поверхностью. В основе модели лежит система уравнений геофизической гидродинамики с использованием приближения гидростатики и *f*-плоскости. Ее важным достоинством является возможность воспроизведения трехмерной структуры течений, что позволяет моделировать поверхностный и придонный пограничные слои. Расчет акватории комплекса

защитных сооружений (КЗС) Санкт-Петербурга осуществлялся на сетке с разрешением по пространству 100 м. Уровень моря, полученный при расчете на сетке всего Балтийского моря с разрешением 2 морские мили, интерполировался на границу области повышенного пространственного разрешения (100 м по горизонтальным переменным), таким образом производится учет наличия КЗС [1-3].

Исходная система уравнений модели со свободной поверхностью записывается в виде:

$$\frac{\partial u}{\partial x}+\frac{\partial v}{\partial y}+\frac{\partial w}{\partial z}=0, \tag{7}$$

$$\frac{\partial \mathrm{u}}{\partial \mathrm{t}}+\frac{\partial}{\partial \mathrm{x}}(\mathrm{uu})+\frac{\partial}{\partial \mathrm{y}}(\mathrm{vu})+\frac{\partial}{\partial \mathrm{z}}(\mathrm{wu})-\mathrm{fv}=-\frac{1}{\rho}\frac{\partial p}{\partial \mathrm{x}}+\mathrm{N_h}\left(\frac{\partial^2 \mathrm{u}}{\partial \mathrm{x}^2}+\frac{\partial^2 \mathrm{u}}{\partial \mathrm{y}^2}\right)+\frac{\partial}{\partial \mathrm{z}}(\mathrm{N_z}\frac{\partial \mathrm{u}}{\partial \mathrm{z}}), \tag{8}$$

$$\frac{\partial v}{\partial t}+\frac{\partial}{\partial x}(uv)+\frac{\partial}{\partial y}(vv)+\frac{\partial}{\partial z}(wv)+fu=-\frac{1}{\rho}\frac{\partial p}{\partial y}+N_h\left(\frac{\partial^2 v}{\partial x^2}+\frac{\partial^2 v}{\partial y^2}\right)+\frac{\partial}{\partial z}(N_z\frac{\partial v}{\partial z}), \tag{9}$$

$$\frac{\partial p}{\partial z}=-\rho g, \tag{10}$$

$$\frac{\partial T}{\partial t}+\frac{\partial}{\partial x}(uT)+\frac{\partial}{\partial y}(vT)+\frac{\partial}{\partial z}(wT)=\frac{\partial}{\partial z}(K_z\frac{\partial T}{\partial z}), \tag{11}$$

$$\frac{\partial S}{\partial t}+\frac{\partial}{\partial x}(uS)+\frac{\partial}{\partial y}(vS)+\frac{\partial}{\partial z}(wS)=\frac{\partial}{\partial z}(K_z\frac{\partial S}{\partial z}) \tag{12}$$

$$\rho=f(T,S,p). \tag{13}$$

Начало координат расположено на невозмущенной поверхности моря, ось z направлена вверх, y − на север, x − на восток. В формулах (7) – (13) использованы следующие обозначения: f − параметр Кориолиса; p − давление; ρ − плотность; T − температура, S – соленость, u,v,w − составляющие поля скорости по осям x, y, z соответственно; g − гравитационное ускорение. Выражения, параметризующие вертикальный турбулентный обмен позволяют исключить ограничение на временной шаг:

$$\Delta t \le \Delta z^2 / 2N_z. \tag{14}$$

Ограничение на шаг по времени связано с распространением длинных гравитационных волн в горизонтальной плоскости:

$$\Delta \mathrm{t} \le \Delta \mathrm{x}/(2\mathrm{gH})^{1/2} \tag{15}$$

При моделировании ситуаций наводнения возможно затопление и осушение прибрежных областей. Для учета этих эффектов расчетная область содержит дополнительные точки, которые считаются «сухими» в начале расчета и могут затопляться в процессе штормового нагона. Таким образом, в этом случае предполагается задание в виде цифрового массива не только батиметрии акватории, соответствующей невозмущенному положению уровня моря, но и топографии прибрежных участков суши – районов возможного затопления.

На рис. 3 приведен пример работы программы по моделированию наводнения 10 января 2007 года (по ретроспективным данным). Для решения задачи прогнозирования наводнений в Санкт-Петербурге применима модель SWAN [8]. Она позволяет на основе заданных полей приводного ветра моделировать спектральные характеристики морского волнения в диапазоне синоптической изменчивости, а по ним – с помощью интегрирования определять характерные высоты, периоды и направления волн.

Особенностью использования SWAN является ориентация на специфические эффекты мелководных акваторий, что важно, учитывая мелководность акватории восточной части Финского залива.

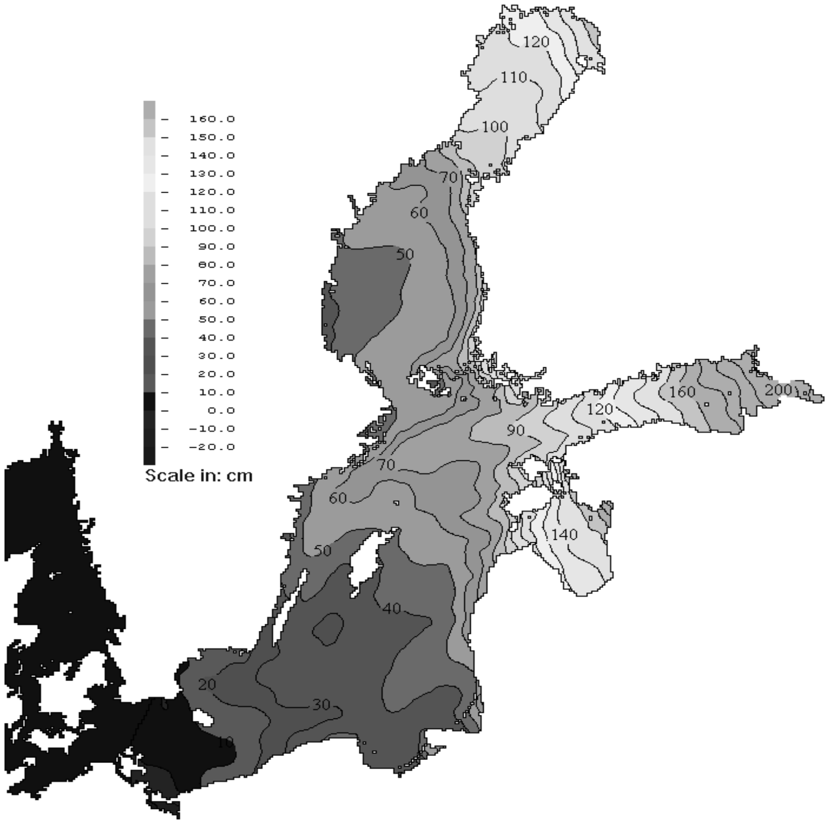


Рисунок 3 – Уровень моря на 12 часов 10 января 2007 г. по результатам гидродинамического моделирования

Ассимиляция (*усвоение*) данных необходима для повышения качества прогноза наводнений, вызванных штормовым нагоном, на основе гидродинамического моделирования в синоптическом диапазоне изменчивости. Для усвоения используются данные на фиксированных постах – морских и береговых гидрометеорологических станциях.

На рис. 4 приведена принципиальная схема решения задачи ассимиляции данных, выполняемой с целью повышения качества оперативных прогнозов уровня Балтийского моря в диапазоне синоптической изменчивости. С точки зрения EWS для принятия решений существенное значение имеют последствия наводнения (ущерб, разрушения, жертвы), а также возможные сценарии развития прогрессирующей критической ситуации (потеря устойчивости движения), когда плановые мероприятия по противодействию не могут быть выполнены, что приводит к увеличению ущерба.

На рис. 5 представлена общая структура EWS, соответствующая модели экстренных вычислений UC. Основные источники информации, дополненные результатами компьютерного моделирования с использованием ресурсов вычислительной инфраструктуры, позволяют обеспечить информационную поддержку решения (сочетание фаз сжатия и расширения). При этом в штатном режиме актуальной является только часть моделей (в первую очередь, модели, обеспечивающие прогнозирование уровня

воды), в то время как при обнаружении потенциальной опасности должны быть задействованы все алгоритмические и технические ресурсы, обеспечивающие возможность моделирования сценариев развития ситуации наводнения под управлением ЛПР.

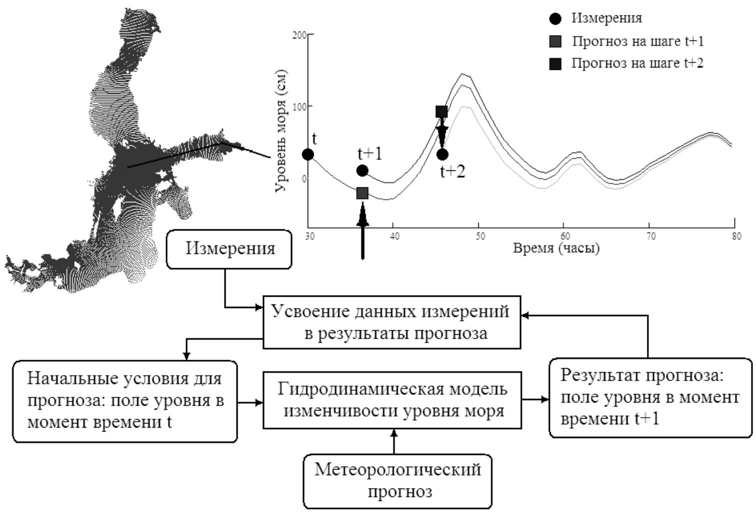


Рисунок 4 – Принципиальная схема ассимиляции данных в модели течений и уровня моря

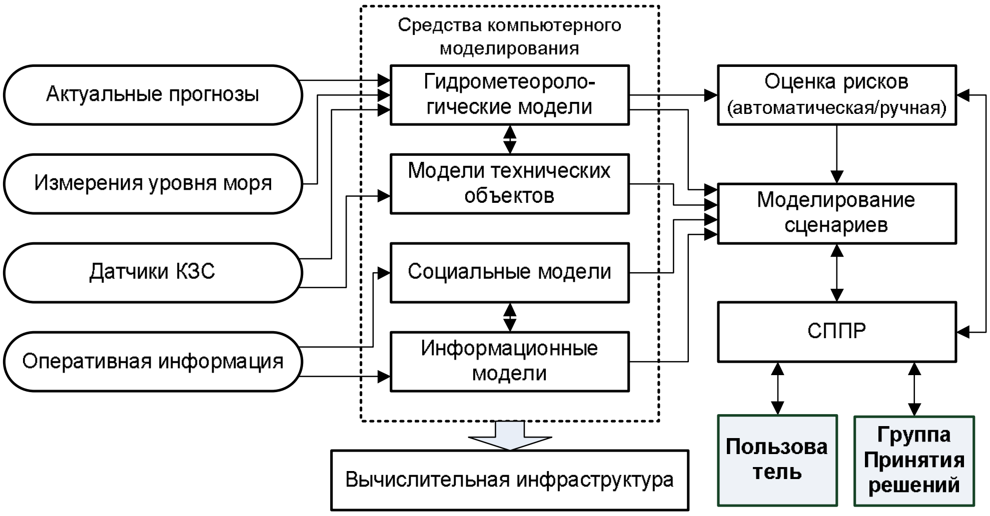


Рисунок 5 – Структура решения EWS для предотвращения наводнений в Санкт-Петербурге

В рамках разработанной технологии используется модель RFSM с учетом эволюции во времени (dynamic rapid flood spreading method, DRFSM) при движении системы к целевому аттрактору. Входными данными модели являются значения объемов воды, попадающих на исследуемые области через разрушенные защитные сооружения. Далее рассчитывается распределение воды по исследуемой области в соответствии с ее топографическими данными. Первичными выходными данными является таблица зависимости количества воды от координат затапливаемой территории. Алгоритм метода DRFSM на каждом шаге по времени включает следующую последовательность шагов: обработка граничных условий; сортировка зон воздействия по уровню воды

для каждой зоны с ненулевым уровнем воды: расчет объемов воды, перемещаемых к соседним зонам; лимитирование объема перемещаемой воды; использование потоков воды из соседних зон; перемещение объемов; расчет скоростей; обработка только что затопленных зон; обновление уровня воды для всех зон воздействия. Входные данные для модели задаются в форме гидрографа (зависимости расхода воды в конкретной области от времени). В качестве примера на рис. 6 представлены результаты моделирования затопления Васильевского острова Санкт-Петербурга для трех различных моментов времени. Визуализация результатов моделирования производилась с использованием спутниковой карты.

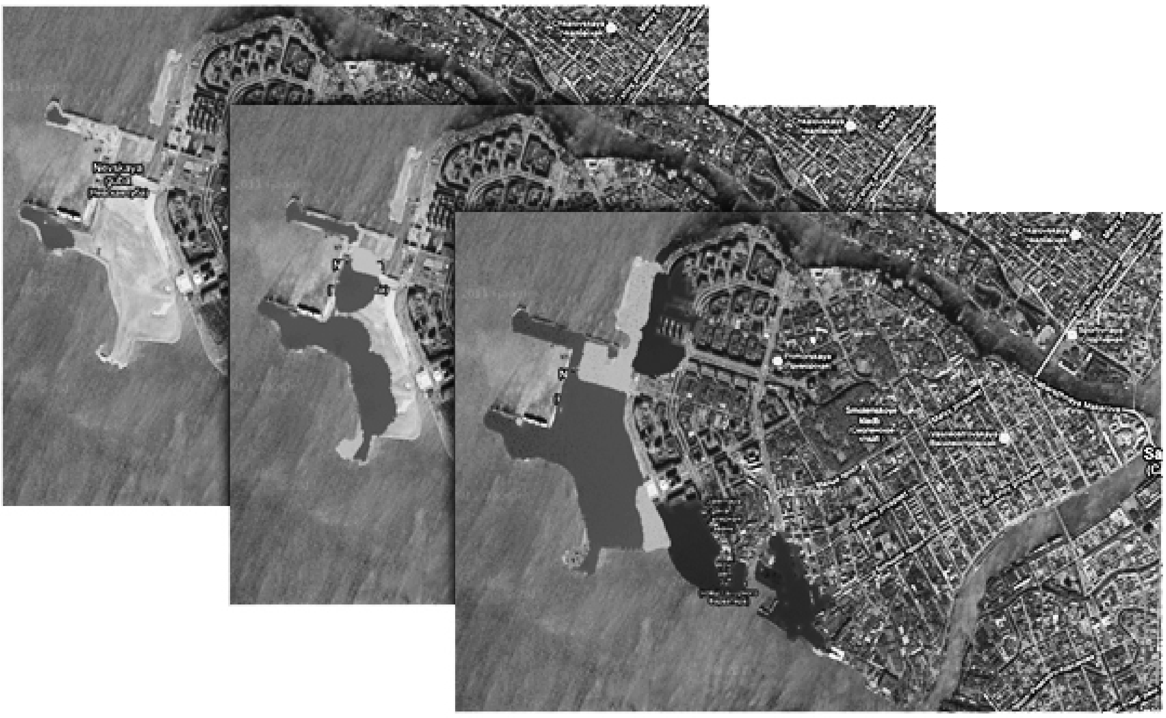


Рисунок 6 – Визуализация результатов расчета затоплений нагонной волной территорий Васильевского острова

Выводы

Таким образом, на основе проведенного исследования сформулирована концепция ПИЦК, обеспечивающая построение проблемно-ориентированных приложений распределенных вычислений в среде «облачной» модели на основе интеллектуальных технологий создания и управления композитными приложениями. В рамках данной концепции разработана структурная схема и алгоритм функционирования ПИЦК в соответствии с иерархическим представлением структуры системы, осуществляющий преобразование композитного приложения с последующим его исполнением в распределенной инфраструктуре «облачных» вычислений на различных уровнях организации системы при движении к целевому аттрактору и при потере устойчивости движения. Практическое приложение разработанной интеллектуальной технологии рассмотрено применительно к актуальной задаче контроля наводнений с помощью системы защитных сооружений, которую можно рассматривать как одно из убедительных иллюстраций приложения синергетической парадигмы.

Работа выполнена в рамках комплексных НИОКР в соответствии с реализацией Постановлений № 218 и 220 Правительства РФ. Основные результаты работы доложены на II Международной конференции Russia Cloud (Москва, 18 апреля 2012 г.).

Литература

1. Виртуальный полигон для исследовательского проектирования морских объектов и сооружений / А.А. Безгодов, С.В. Иванов, С.С. Косухин, А.В. Бухановский // Изв. вузов. Приборостроение. – 2011. – Т. 54, № 10. – С. 58-65.
2. Бухановский А.В. Интеллектуальные высокопроизводительные программные комплексы моделирования сложных систем: концепция, архитектура и примеры реализации / А.В. Бухановский, С.В. Ковальчук, С.В. Марьин // Изв. вузов. Приборостроение. – 2009. – Т. 52, № 10. – С. 5-24.
3. Всероссийская суперкомпьютерная конференция «Научный сервис в сети Интернет: решение больших задач [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://guru.ru/display.php?conf=abrau2008>.
4. Нечаев Ю.И. Теория катастроф: современный подход при принятии решений / Нечаев Ю.И. – Санкт-Петербург : Арт-Экспресс, 2011.
5. Прокопчук Ю.А. Интеллектуальное синергетическое управление динамическими системами / Ю.А. Прокопчук // Искусственный интеллект. – 2009. – № 4. –С. 12-21.
6. Синергетическая парадигма. Многообразие поисков и подходов.– М. : Прогресс–Традиция, 2000.
7. GTSI Cloud Computing Maturity Model [Электронный ресурс]. – Режим доступа : http://www.gtsi.com/sms/documents/White-Papers/Cloud-Computing.pdf
8. SWAN. User manual. Delft University of Technology. 2004 [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <HTUhttp://fluidmechanics.tudelft.nl/swan/index.htmUT>.
9. Urgent Computing Workshop 2007. Argonne National Lab, University of Chicago. – April 25-26, 2007 [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://spruce.teragrid.org/workshop/urgent07.php>.

Статья поступила в редакцию 03.04.2013.